Ж. Ж. БАЙГУНЧЕКОВ*, Б. К. НУРАХМЕТОВ*, Э. М. МАЖИЕВА**

УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ БИНАРНОГО ЗВЕНА ВИДА ВЦ

С элементами j-ой вращательной и k-ой цилиндрической кинематических пар бинарного звена вида **ВЦ** (рис. 1) (где В – вращательная, Ц – цилиндрическая кинематические пары) жестко связываем правые декартовы координат $U_jV_jW_j$ и $X_kY_kZ_k$, координатные оси которых выбираются следующим образом:

– координатные оси W_j и Z_k, лежат соответственно на оси вращения j-ой вращательной, вращения и поступательного движения k-ой цилиндрической кинематических пар;

– начало системы координат $U_jV_jW_j$ находится в произвольно выбранной точке 0_j, лежащей на оси вращения W_j вращательной кинематической пары j;

– начало системы координат $X_kY_kZ_k$ находятся в точке O_k пересечения общего перпендикуляра t_{jk} между осями W_j и Z_k и осью Z_k;

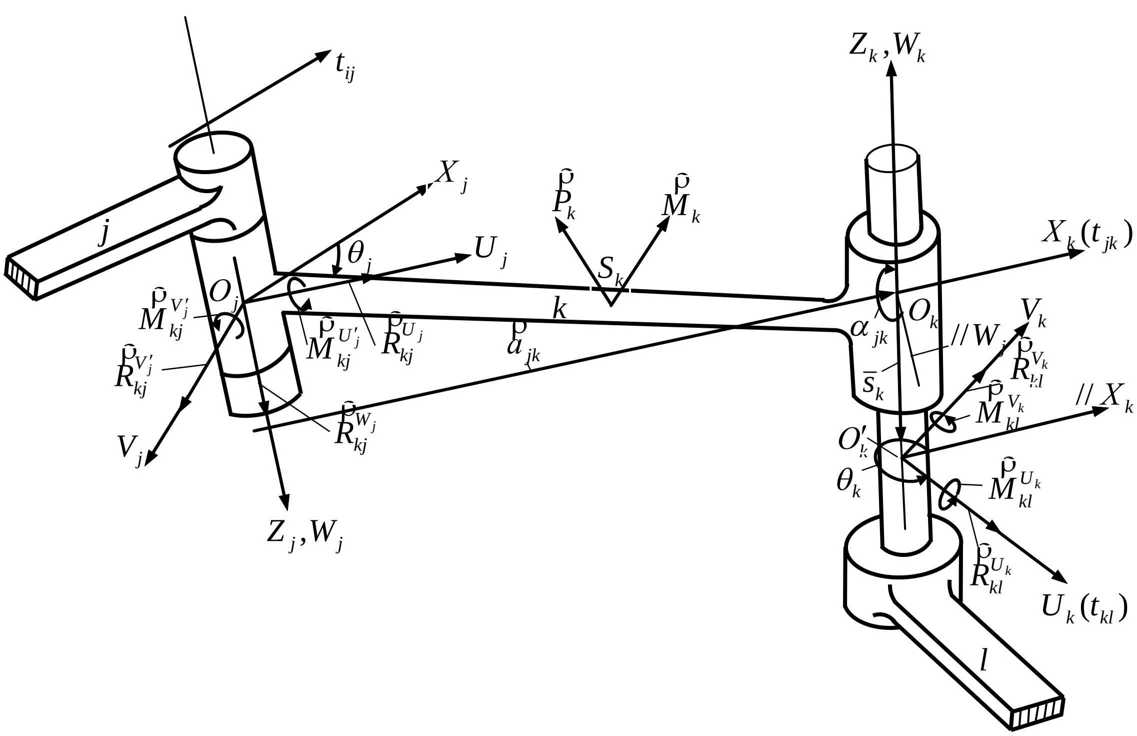
– координатная ось U_j параллельна общему перпендикуляру t_{jk} и их положительные направления совпадают;

– координатная ось X_k лежит вдоль общего перпендикуляра t_{jk} и их положительные направления совпадают;

– координатные оси V_j и Y_k дополняют правые декартовы систем координат;

Все внешние силы и моменты, действующие на звено k, в том числе силы и моменты сил инерции звена, приводим в точку приведения S_k к главному вектору $\vec{P}_k$ и главному моменту $\vec{M}_k$. Под действием $\vec{P}_k$ и $\vec{M}_k$ в кинематических парах j и k возникают силы реакции.

В кинематической паре j бинарного звена k силы реакции, действующие на бинарное звено k со стороны звена j, приведены в точку O_j – начале систем координат $X_jY_jZ_j$ и $U_jV_jW_j$ и заменены главными векторами сил и моментов реакции $\vec{R}_{kj}$ и $\vec{M}_{kj}$, которые в системе $U_jV_jW_j$ имеют компоненты



Бинарное звено вида **ВЦ**

$$\left.\begin{aligned}\vec{R}_{kj} &= \left[R_{kj}^{U_j}, R_{kj}^{V_j}, R_{kj}^{W_j}\right] \\ \vec{M}_{kj} &= \left[M_{kj}^{U_j}, M_{kj}^{V_j}, 0\right]\end{aligned}\right\} \tag{1}$$

В кинематической паре k силы реакции, действующие на бинарное звено k со стороны звена l, приведены в точку O_k' – начале системы координат $U_kV_kW_k$ и заменены главными векторами сил и моментов реакции, которые в системах координат $U_kV_kW_k$ и $U_jV_jW_j$ имеют компоненты

$$\left.\begin{aligned}\vec{R}_{kl} &= \left[R_{kl}^{U_k}, R_{kl}^{V_k}, 0\right] \\ \vec{M}_{kl} &= \left[M_{kl}^{U_k}, M_{kl}^{V_k}, 0\right]\end{aligned}\right\} \tag{2}$$

и

$$\left.\begin{aligned}\vec{R}_{kl} &= \left[R_{kl}^{U_j}, R_{kl}^{V_j}, R_{kl}^{W_j}\right] \\ \vec{M}_{kl} &= \left[M_{kl}^{U_j}, M_{kl}^{V_j}, M_{kl}^{W_j}\right]\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Аналогично можно выразить компоненты главных вектора $\vec{P}_k$ и момента $\vec{M}_k$ внешних сил и моментов в координатной системе $U_jV_jW_j$

$$\left.\begin{aligned}\vec{P}_k &= \left[P_k^{U_j}, P_k^{V_j}, P_k^{W_j}\right] \\ \vec{M}_k &= \left[M_k^{U_j}, M_k^{V_j}, M_k^{W_j}\right]\end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Главный вектор $\vec{P}_k$ и главный момент $\vec{M}_k$ внешних сил, а также силу и момент реакции $\vec{R}_{kl}$ и $\vec{M}_{kl}$ в кинематической паре k приведем в точку O_j – начале систем координат $X_jY_jZ_j$ и $U_jV_jW_j$.

Тогда уравнения равновесия бинарного звена k вида **ВЦ** имеют вид

$$\left.\begin{aligned}R_{kj}^{U_j} + R_{kl}^{U_j} + P_k^{U_j} &= 0 \\ R_{kj}^{V_j} + R_{kl}^{V_j} + P_k^{V_j} &= 0 \\ R_{kj}^{W_j} + R_{kl}^{W_j} + P_k^{W_j} &= 0\end{aligned}\right\} \tag{5}$$

и

$$\left.\begin{aligned}M_{kj}^{U_j} + M_{kl}^{U_j} + M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{R}_{kl}\right) + M_k^{U_j} + M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{P}_k\right) &= 0 \\ M_{kj}^{V_j} + M_{kl}^{V_j} + M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{R}_{kl}\right) + M_k^{V_j} + M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{P}_k\right) &= 0 \\ M_{kl}^{W_j} + M_{O_j}^{W_j}\left(\vec{R}_{kl}\right) + M_k^{W_j} + M_{O_j}^{W_j}\left(\vec{P}_k\right) &= 0\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

где компоненты силы реакции $\vec{R}_{kl}$ и момента реакции $\vec{M}_{kl}$ в системах координат $U_jV_jW_j$ и $U_kV_kW_k$ связаны между собой следующими матричными уравнениями

$$\begin{bmatrix} R_{kl}^{U_j} \\ R_{kl}^{V_j} \\ R_{kl}^{W_j} \end{bmatrix} = \left[g_{jk}\right]^{ВЦ} \cdot \left[p_k\right]^{Ц} \cdot \begin{bmatrix} R_{kl}^{U_k} \\ R_{kl}^{U_k} \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{7}$$

$$\begin{bmatrix} M_{kl}^{U_j} \\ M_{kl}^{V_j} \\ M_{kl}^{W_j} \end{bmatrix} = \left[g_{jk}\right]^{ВЦ} \cdot \left[p_k\right]^{Ц} \cdot \begin{bmatrix} M_{kl}^{U_k} \\ M_{kl}^{U_k} \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{8}$$

где $\left[g_{jk}\right]^{ВЦ}$ и $\left[p_k\right]^{Ц}$ – подматрицы вращений матриц бинарного звена k вида **ВЦ** (9) и цилиндрической кинематической пары k (10) , которые имеют вид

$$\left[g_{jk}\right]^{ВЦ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_{jk} & -\sin\alpha_{jk} \\ 0 & \sin\alpha_{jk} & \cos_{jk} \end{bmatrix}, \tag{9}$$

$$\left[p_k\right]^{Ц} = \begin{bmatrix} \cos\theta_k & -\sin\theta_k & 0 \\ \sin\theta_k & \cos\theta_k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

Подставляя подматриц вращения (9) и (10) в уравнения (7) и (8), получим

$$\left.\begin{aligned}R_{kl}^{U_j} &= l_{11}^k R_{kl}^{U_k} + l_{12}^k R_{kl}^{V_k} \\ R_{kl}^{V_j} &= l_{21}^k R_{kl}^{U_k} + l_{22}^k R_{kl}^{V_k} \\ R_{kl}^{W_j} &= l_{31}^k R_{kl}^{U_k} + l_{32}^k R_{kl}^{V_k}\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

и

$$\left.\begin{aligned}M_{kl}^{U_j} &= l_{11}^k M_{kl}^{U_k} + l_{12}^k M_{kl}^{V_k} \\ M_{kl}^{V_j} &= l_{21}^k M_{kl}^{U_k} + l_{22}^k M_{kl}^{V_k} \\ M_{kl}^{W_j} &= l_{31}^k M_{kl}^{U_k} + l_{32}^k M_{kl}^{V_k}\end{aligned}\right\} \tag{12}$$

где

$$l_{11}^k=\cos\theta_k,\, l_{12}^k=-\sin\theta_k,\, l_{13}^k=0,$$
$$l_{21}^k=\cos\alpha_{jk}\sin\theta_k,$$
$$l_{22}^k=\cos\alpha_{jk}\cos\theta_k,\, l_{23}^k=-\sin\alpha_{jk},$$
$$l_{31}^k=\sin\alpha_{jk}\sin\theta_k,$$
$$l_{32}^k=\sin\alpha_{jk}\cos\theta_k,\, l_{33}^k=\cos\alpha_{jk}.$$

Тогда уравнения сил (5) бинарного звена k принимают вид

$$\left.\begin{aligned} R_{kj}^{U_j}+l_{11}^k R_{kl}^{U_k}+l_{12}^k R_{kl}^{V_k}&=-P_k^{U_j}\\ R_{kj}^{V_j}+l_{21}^k R_{kl}^{U_k}+l_{22}^k R_{kl}^{V_k}&=-P_k^{V_j}\\ R_{kj}^{W_j}+l_{31}^k R_{kl}^{U_k}+l_{32}^k R_{kl}^{V_k}&=-P_k^{W_j}\end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

В системе уравнений (6) величины $M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)$, $M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)$ и $M_{O_j}^{W_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)$ являются компонентами вектора момента силы реакции $\vec{R}_{kl}$ относительно точки O_j в системе координат $U_jV_jW_j$, определяемого выражением

$$\vec{M}_{O_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)=\vec{r}_j^{\,O_k'}\times\vec{R}_{kl}=\begin{vmatrix}\vec{u}_j & \vec{v}_j & \vec{w}_j\\ U_j^{O_k'} & V_j^{O_k'} & W_j^{O_k'}\\ R_{kl}^{U_j} & R_{kl}^{V_j} & R_{kl}^{W_j}\end{vmatrix}, \qquad (14)$$

где $\vec{u}_j, \vec{v}_j, \vec{w}_j$ – единичные векторы системы координат $U_jV_jW_j$, а $U_j^{O_k'}, V_j^{O_k'}, W_j^{O_k'}$ – координаты точки приложения O_k' силы реакции $\vec{R}_{kl}$ в системе координат $U_jV_jW_j$.

Кроме того, точка O_k' в системе координат $X_kY_kZ_k$ имеет координаты $[0,0,s_k]$. Тогда между координатами точки O_k' в системах координат $U_jV_jW_j$ и $X_kY_kZ_k$ существует связь в виде уравнения

$$\begin{bmatrix}1\\ U_j^{O_k'}\\ V_j^{O_k'}\\ W_j^{O_k'}\end{bmatrix}=\left[G_{jk}\right]^{ВЦ}\cdot\begin{bmatrix}1\\0\\0\\s_k\end{bmatrix} \qquad (15)$$

Подставляя матрицу $\left[G_{jk}\right]^{ВЦ}$ бинарного звена вида **ВЦ** (9) в уравнение (15), получим

$$\left.\begin{aligned} U_j^{O_k'}&=a_{jk}\\ V_j^{O_k'}&=-s_k\sin\alpha_{jk}\\ W_j^{O_k'}&=c_{jk}s_k\cos\alpha_{jk}\end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

Если подставить (16) и (11) в определитель (14) и раскрыть его относительно элементов первой строки, то получим

$$\left.\begin{aligned} M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)&=h_{11}^k R_{kl}^{U_k}+h_{12}^k R_{kl}^{V_k}\\ M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)&=h_{21}^k R_{kl}^{U_k}+h_{22}^k R_{kl}^{V_k}\\ M_{O_j}^{W_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)&=h_{31}^k R_{kl}^{U_k}+h_{32}^k R_{kl}^{V_k}\end{aligned}\right\}, \qquad (17)$$

где

$$h_{11}^k=-s_k\sin\theta_k-c_{jk}\cos\alpha_{jk}\sin\theta_k,$$
$$h_{12}^k=-s_k\cos\theta_k-c_{jk}\cos\alpha_{jk}\cos\theta_k,$$
$$h_{21}^k=c_{jk}\cos\theta_k+s_k\cos\alpha_{jk}\cos\theta_k-$$
$$-a_{jk}\sin\alpha_{jk}\sin\theta_k,$$
$$h_{22}^k=c_{jk}\sin\theta_k-s_k\cos\alpha_{jk}\sin\theta_k-$$
$$-a_{jk}\sin\alpha_{jk}\cos\theta_k,$$
$$h_{31}^k=a_{jk}\cos\alpha_{jk}\sin\theta_k-s_k\sin\alpha_{jk}\cos\theta_k,$$
$$h_{32}^k=a_{jk}\cos\alpha_{jk}\cos\theta_k-s_k\sin\alpha_{jk}\sin\theta_k.$$

Подставляя полученные выражения компонентов момента $\vec{M}_{O_j}\left(\vec{R}_{kl}\right)$ и выражения компонентов момента $\vec{M}_{kl}$ из (12) в систему уравнений (6), получим окончательный вид уравнений моментов бинарного звена k вида **ВЦ**

$$\left.\begin{aligned} &M_{kj}^{U_j}+l_{11}^k M_{kl}^{U_k}+l_{12}^k M_{kl}^{V_k}+h_{11}^k R_{kl}^{U_k}+\\ &\qquad+h_{12}^k R_{kl}^{V_k}=-M_k^{U_j}-M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{P}_k\right)\\ &M_{kj}^{V_j}+l_{21}^k M_{kl}^{U_k}+l_{22}^k M_{kl}^{V_k}+h_{21}^k R_{kl}^{U_k}+\\ &\qquad+h_{22}^k R_{kl}^{V_k}=-M_k^{V_j}-M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{P}_k\right)\\ &l_{31}^k M_{kl}^{U_k}+l_{32}^k M_{kl}^{V_k}+h_{31}^k R_{kl}^{U_k}+h_{32}^k R_{kl}^{V_k}=\\ &\qquad=-M_k^{V_j}-M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{P}_k\right)\end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

которые совместно с уравнениями сил (13) образуют уравнения равновесия рассматриваемого бинарного звена.

Системы уравнений равновесия (13) и (8) имеют следующие матричные формы

$$\left[R_{kj}\right] = \left[L_{jk}\right] \cdot \left[R_{kl}\right] + \left[Q_k\right], \qquad (19)$$

$$\left[M_{kj}\right] = \left[L_{jk}\right] \cdot \left[M_{kl}\right] + \left[H_{jk}\right] \cdot \left[R_{kl}\right] + \left[M_k\right], \qquad (20)$$

где

$$\left[R_{kj}\right] = \begin{bmatrix} R_{kj}^{U_j} \\ R_{kj}^{V_j} \\ R_{kj}^{W_j} \end{bmatrix}, \left[R_{kl}\right] = \begin{bmatrix} R_{kl}^{U_k} \\ R_{kl}^{V_k} \\ 0 \end{bmatrix}, \left[Q_k\right] = -\begin{bmatrix} P_k^{U_j} \\ P_k^{V_j} \\ P_k^{W_j} \end{bmatrix},$$

$$\left[M_{kl}\right] = \begin{bmatrix} M_{kl}^{U_k} \\ M_{kl}^{V_k} \\ 0 \end{bmatrix}, \left[M_{kj}\right] = \begin{bmatrix} M_{kj}^{U_j} \\ M_{kj}^{V_j} \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\left[M_k\right] = -\begin{bmatrix} M_k^{U_j} + M_{O_j}^{U_j}\left(\vec{P}_k\right) \\ M_k^{V_j} + M_{O_j}^{V_j}\left(\vec{P}_k\right) \\ M_k^{W_j} + M_{O_j}^{W_j}\left(\vec{P}_k\right) \end{bmatrix},$$

$$\left[L_{jk}\right] = -\begin{bmatrix} l_{11}^k & l_{12}^k & 0 \\ l_{21}^k & l_{22}^k & l_{23}^k \\ l_{31}^k & l_{32}^k & l_{33}^k \end{bmatrix},$$

$$\left[H_{jk}\right] = -\begin{bmatrix} h_{11}^k & h_{12}^k & 0 \\ h_{21}^k & h_{22}^k & 0 \\ h_{31}^k & h_{32}^k & 0 \end{bmatrix}$$

ЛИТЕРАТУРА

Baigunchekov Zh.Zh., Nurakhmetov B.K. and et. ab. Kinematics of the Parallel Manipulators with Functionally Independent Drives (Part I and II). The XI World IFToMM Congress. 1-4 April, 2004, Tianjin, China. 1647-1656 p.ъ

Резюме

Ғылыми жұмыста АЦ түрлі бинарлық буынның матрицалық және теңдік теңдеулері алынды (А – айналмалы, Ц – цилиндрлі кинематоикалық жұп).

Summary

In the given paper the equilibrium equations of a **RC** binary link are made.

УДК 621.01

**Казахстанско-Британский технический университет;*

***Алматинский технологический университет*

Поступила 3.05.07г.

Д. КАСЫМБЕКОВА, Г. МЕЙИРОВА, М. Б. УМЕРЗАКОВА, Б. А. ЖУБАНОВ

ПОЛИМЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ 1,2,5-ТРИМЕТИЛ-4-АЦЕТИНИЛПИПЕРИДОЛА-4

Проведены комплексные исследования процесса иммобилизации γ- и β-изомеров 1,2,5-триметил-4-ацетинилпиперидола-4 на сополимер стирола и малеинового ангидрида. Определены оптимальные условия синтеза. Установлено, что γ-изомер в изучаемой реакции активнее, чем β-изомер.

Пиперидиновое кольцо содержится в составе многих природных и синтетических биоактивных соединений, обладающих широким спектром биологического действия, начиная с психотропных, болеутоляющих лекарственных средств и заканчивая рострегулирующими препаратами для растений [1].

Из сельскохозяйственных препаратов полученных на основе пиперидина наиболее изучены моно- и диацетинил производные пиперидолов. Многолетними исследованиями, проведенными под руководством И.Н. Азербаева, К.Б. Ержанова, установлено влияние заместителей в кольце на реакционоспособность и ростстимулирующие свойства пиперидолов [2, 3]. В частности, в работе [3] приведены данные о биоактивности стереоизомеров и рацематов моно- и диацетинилпиперидолов. Например, рацематы 1,2,5-триметил-